

5.5kW이하의 소형분쇄기 차단기 접속부의 접촉불량에 의한 전압강하 및 열적 특성 분석

김상철[†]

세명대학교 보건안전공학과
(2015. 3. 16. 접수 / 2015. 4. 14. 수정 / 2015. 5. 21. 채택)

Analysis of Voltage Drop and Thermal Characteristics for Poor Connections at Electrical Connector of Circuit Breaker of Small Size Pulverizer below 5.5kW

Sang Chul Kim[†]

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Semyung University
(Received March 16, 2015 / Revised April 14, 2015 / Accepted May 21, 2015)

Abstract : This paper describes the characteristics of voltage drop and thermal for poor connection on electrical connector of circuit breaker in control box of small size pulverizer. In order monitor, we did the changes of RMS in voltage and temperature value with video and made normal state over 2.5N · m and poor connections state below 0.2N · m by screw gage. In case of voltage signal, the voltage drop was increased when the current was increased due to poor connections. In case of temperature signal, the temperature difference indicates ten times at 5A and fourteen times at 15A in the normal state. According to increase thermal energy, the insulation of electrical wiring and connector of circuit breaker can be carbonized. The results of this study will be useful to the development of preventive devices and system for electric fire by poor connection at small size pulverizer.

Key Words : voltage drop, poor connection, small size pulverizer, RMS, electric fire

1. 서론

2014년 화재통계에 의하면 전기화재원인 중 접촉불량에 의한 전기화재 총 발생건수는 9.4%인 892건이 발생하였으며, 해당 원인에 대한 예방 연구가 필요하다¹⁾.

전선 또는 전기기구의 접속부의 접속방식은 스프링 접속, 압착 접속, 스크류 접속 등으로 나눌 수 있으며 대부분의 스크류 접속이다. 대표적인 스크류 접속 기구는 단자대, 차단기 접속부 및 기타 접속부를 포함한다²⁾. 단자대를 포함한 접속부에서 접촉불량에 의한 전기사고는 한국산업규격(KS)에 맞지 않은 조임 접속과 기계적인 진동의 영향 등으로 이루어지거나 환경적인 영향에 의한 부식 및 전식 등 다양한 열화 원인으로 작용한다. 특히 기계적 진동에 의해 접속부의 접촉불량이 발생하면 차단기의 용량이하 전류로 인하여 아크가 지

속적으로 발생하고 이로 인하여 주변 절연물의 온도가 상승하여 탄화시킨다. 이런 원인을 발생시키는 기계기구는 프레스, 차단기, 사출성형기, 분쇄기 등의 기계에 해당된다. 특히 분쇄기의 경우는 분쇄작업 시 지속적인 진동을 발생하여 전기설비 접속점을 이완시켜 접촉불량을 유도하게 되는데 이때 아크와 열 축적은 절연물의 용착(鎔着)과 탄화(炭火)현상을 발생하여 전기화재 발생의 주요 원인이 된다³⁾. 분쇄기의 전기설비는 분쇄기기를 제어하는 제어함으로 구성되어 있으며, 제어함 내에는 회로차단기, 단자대, MC(Magnetic connector) 등으로 구성되어 사용된다. 또한 분진이 쌓이는 것을 방지하기 위해 밀폐형 구조가 대부분이며 외부에서는 전기적 문제를 발견하기는 어렵다. 제어함 내의 차단기는 대부분 배선용차단기를 많이 사용하며 정격이하의 전류에서 접촉불량이 발생하면 이를 감지 못하거나

[†] Corresponding Author : Sang Chul Kim, Tel :+82-10-8846-5085 , E-mail : sckim@semyung.ac.kr
Department of Occupational of Health and Safety Engineering, Semyung University, 65, semyung-ro, Jecheon, Chunbuk 390-711, Korea

또는 감지를 한다고 해도 높은 온도로 인하여 차단기 구조체나 전선 절연물에 탄화를 촉진한다.

본 연구에서는 분쇄기의 진동을 재현하기 위하여 단상진동모터(3,000 rpm)를 부착하였고, 실태조사에서 가장 많이 사용하는 분쇄기에 전류값 5A, 10A, 15A의 전류를 차단기 부하측 단자의 정상상태와 접촉불량 상태를 유도하였다. 정상상태와 접촉불량 상태의 구분은 한국산업규정에 의하여 정상상태는 $2.5N \cdot m$ 와 접촉불량은 $0.2N \cdot m$ 상태로 하였다. 접속점의 접촉불량 상태에서 발생하는 전압강하와 차단기동작시간, 차단기동작시간에 따른 최대 온도값 등을 측정하여 진동 기계기구에서의 접촉불량으로 인한 전기화재 가능성을 제시하였다.

2. 이론적 배경 및 실태조사

2.1 접촉불량

전원 공급회로에는 케이블 부분, 플러그와 소켓 연결 부분, 제어 장비, 온도조절기 등과 같은 접합(junctions) 부분과 연결(connections)부분을 포함한다. 이런 접촉부분은 전류 흐름을 위한 저저항을 제공하기 위해서 각각의 조인트인 도체사이에 물리적 접촉이 요구된다. 도체간의 물리적 접촉의 품질은 수많은 요소들에 의해 영향을 받을 수 있다. 고장의 이런 유형이 되는 전형적 메커니즘은 접촉면의 산화 또는 부식, 체결 장치(예를 들어 스크류, 클램프)의 부적당한 조밀, 운동 또는 진동(특히 일반적인 기계장치와 운반체), 플러그 핀과 소켓 리셉터클과 같은 슬라이딩 부위의 마모, 트위트 형태의 전선 조인트 부분, 도체의 파괴 또는 수축 및 전선 절연체에서의 탄소 트래킹 형성 등의 다양한 원인이 제공된다. 커넥터 또는 접합 부분이 불량한 개소에서는 다른 회로에 비교해서 매우 높은 저항이 존재한다. 이런 경우 회로에 낮은 전류가 흘러도 국부적으로 열을 발생한다. 정상적인 접속부분에서는 0.1Ω 의 불량 조인트 또는 연결부분은 약 5Ω 정도 저항이 나타난다⁴⁷⁾. 해당 개소에 10A의 전류가 흐른다면 500 W의 손실이 나타날 것이다²⁾.

또한 기체분자를 이온화시켜 도전성경로를 형성할 때, 공극이 존재하고, 초기 전류 경로와 공기 자체를 이온화시키는 높은 수분함량(예를 들어 대기습도) 등의 이유로 아크가 발생한다⁴⁾. 아크는 구체적으로 다음과 같은 경우에 발생한다⁴⁾.

- 아크는 도체가 서로 접촉되는 것이 지속적이지 않을 때 발생한다.
- 아크는 공극이 만들어 지고 이것이 멈추지 않고

도체가 분리되면서 발생한다.

- 350V 이하 교류전압에서, 아크는 공극이 0.0005 mm보다 크면 발생하지 않는다.
- 올바른 회로 보호장치는 아크결함(arc fault)이 시작시 고전류(high current)가 인가되므로 반드시 작동해야 한다.
- 50 Hz 교류에서 아크 발생지점은 전압이 Zero인 지점으로 0.04초 후를 의미한다.

2.2 단자 나사의 조임토크

단자대의 나사 조임 토크는 한국산업규격⁸⁾의 나사 지름에 맞는 기준이 적용되어 있으며, 실태조사에서 가장 많이 사용되고 있는 배선용 차단기의 단자나사의 호칭지름은 6.0 mm로 정격토크는 $2.5N \cdot m$ 이상 조임을 해야 한다. $2.5N \cdot m$ 이상은 정상상태이며, 이하의 경우는 접촉불량으로 간주된다. Table 1은 한국산업규격에서 제시한 단자 나사의 조임토크를 나타내었다.

2.3 소형 분쇄기 실태조사

충남 지역의 플라스틱을 분쇄하는 사업장 총 26개소의 실태조사를 실시하였다. 실태조사는 국소 및 전소

Table 1. Torque values for normal designation of screw

Normal designation of screw [mm]	Torque [N · m]
2.5	0.4
3	0.5
3.5	0.8
4	1.2
5	2.0
6	2.5



Fig. 1. Small size pulverizer of P company in Chungnam regional.

등의 전기화재 발생 유무, 설치상태 및 관리상태, 용량 등을 조사하였다. 전기화재 발생 유무에서 차단기 접속부에서 접촉불량으로 인한 국소화재로 총 4건이 나타났다. 이를 전국적으로 확대했을 경우, 높은 점유율이다. 관리자에 의하면 국소화재, 즉 차단기에 국한해서 발생한 화재는 자체 수리 및 교체를 실시한다. 제어함이 분쇄기에 부착되어 있고, 작업상 상시 진동이 가해지고, 용량이 큰 모터의 사용으로 전기화재의 사각지대로 작용되고 있다. 또한 이런 화재는 소방서 화재견수에도 적용되지 않는다. 설치된 소형분쇄기는 380V, 2 kW~5.5 kW이하가 대부분이었다. Fig. 1은 충남 지역에 설치되어 있는 소형분쇄기를 나타내었다.

3. 실험 방법

3.1 실험방법

(1) 정상 작동 실험 방법

정상 작동 실험은 회로차단기의 접속단자부의 토크를 2.5N·m이상의 압력으로 하였고 3000 rpm진동을 유지하도록 하였다. 실태조사에서 접촉불량이 발생된 분쇄기가 2 kW에서 1건, 5.5 kW에서 4건으로 나타났다. 본 실험에서의 전류값을 5A, 10A, 15A로 정하였다. 전압, 전류 및 온도값을 동시에 측정하기 위하여 동일 PC에 측정할 수 있는 소프트웨어를 설치하였다. 전압 및 전류의 경우는 순시값, 실효값, 온도는 실시간 동영상으로 저장이 가능하도록 하였으며 전류, 전압 및 온도값의 동시성을 강조하였다. 실험횟수는 전류마다 3회를 실시하여 평균값으로 나타내었다. 측정시 주위온도는 20°C, 습도는 42%였다.

(2) 접촉불량 상태 실험 방법

접촉불량 상태는 0.2N·m 이하의 접촉압력상태로

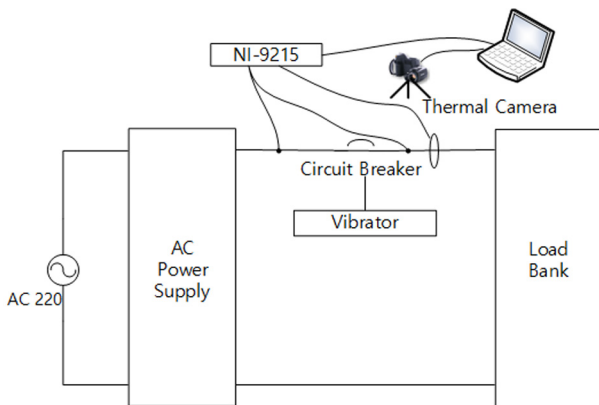


Fig. 2. Schematic diagram of poor connector experiment system.

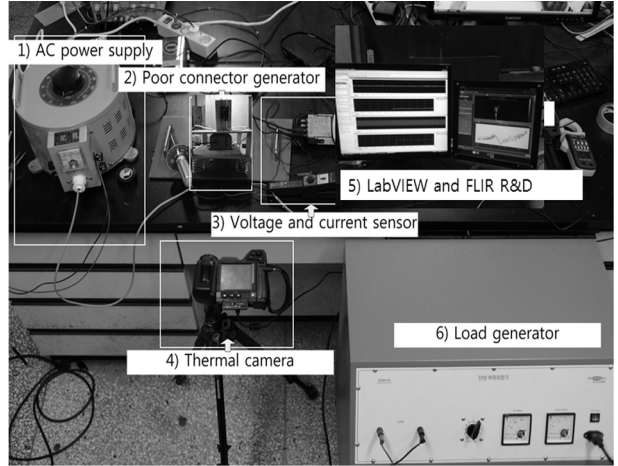


Fig. 3. Experiment setups of poor connector.

하였고, 정상상태와 같은 실험 조건을 입력하였다. 접촉불량 상태에서는 접속점의 전압강하를 측정하였으며, 동시에 온도의 변화와 차단기 동작시간을 측정하였다. 아울러 전압, 전류 및 온도를 실시간으로 저장할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 전압, 전류 및 온도를 측정하기 위한 개략도이다.

3.2 실험장치

전원부는 Fig. 3의 1)로 정격용량 5 kVA의 전원조정기를 이용하였다. 차단기는 진흥전기사의 30A 배선용 차단기를 설치하였다. 접촉불량 상태를 만들기 위하여 일본의 KANON의 토크 드라이브를 이용했으며, 접촉불량 개선에 진동을 입력하기 위하여 Fig. 3의 2)와 같이 3,000 rpm의 모터를 사용하였다. Fig. 3의 3)은 전압 및 전류의 순시값과 파형패턴을 측정하기 위하여 전압은 Tektronix의 전압프로브(P6119PB), 전류는 Tektronix의 A622 AC/DC 전류프로브로 하였고, 이들 전압 및 전류 프로브에서 들어오는 신호를 수집하는 장치는 같은 회사의 NI-9215를 이용하였다. NI-9215는 4채널로 구성되어 있으며 4채널에 입력되는 신호를 동시에 분석하여 이를 PC로 전달한다. 전압 및 전류에 대한 모니터링 소프트웨어는 LabVIEW의 Signal Express를 이용하였다. Fig. 3의 4)는 FLIR 4시리즈로 -40°C~1,000°C까지 온도 분석이 가능하며, 동영상과 실시간저장이 가능한 열화상카메라이다. Fig. 3의 5)는 PC로 전압 및 전류의 Signal Express와 온도의 FLIR R&D 소프트웨어를 설치하여 저장할 수 있도록 하였다. 마지막으로 전원 발생부는 우선 제어사의 단상 부하저항기를 이용하였으며 가변하여 부하를 입력하였다. Fig. 3은 전압, 전류 및 온도 측정장치를 나타내었다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 전압 강하 특성

접촉불량 개소에서 5A를 입력했을 때, 평균 5.4V의 전압강하가 발생하였고, 10A에서는 7.5V, 15A에서는 8.3V로 10A이후로 전압강하가 7~9V사이에 전압강하가 발생되었다. Fig. 4는 접촉불량에 의한 전압강하를 나타내었다.

4.2 열적 신호 특성

2.5N·m 이상 조임(정상상태)에 대하여 접속부의 온도 분포는 5A, 10A, 15A의 전류값에 대하여 29.2℃, 32.6℃, 40.8℃로 나타났으며, 접촉불량시에는 298℃, 391℃, 561℃였다. 접촉불량시의 5A에서는 정상의 약 10배 정도의 온도차를 보였고, 10A의 경우는 약 12배 정도로 나타났다. 15A의 경우는 약 14배로 전류가 증가함에 따라 수치 또한 증가하였다. 단자대와 옥내배

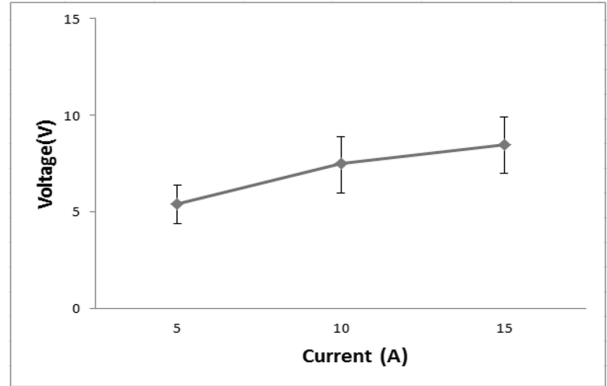


Fig. 4. Voltage drop for current at poor connection states.

선 IV전선의 허용온도가 70℃⁹⁾로, 5A(298℃)에서 이미 허용온도를 초과하였다. 이는 분쇄기에서 진동발생 시에 단자대 및 전기배선의 절연체를 손상할 수 있고, 지속된다면 전기화재로의 진전될 가능성이 있음을 확인하였다. 접촉불량 시에 회로차단기의 작동시간은 5A의

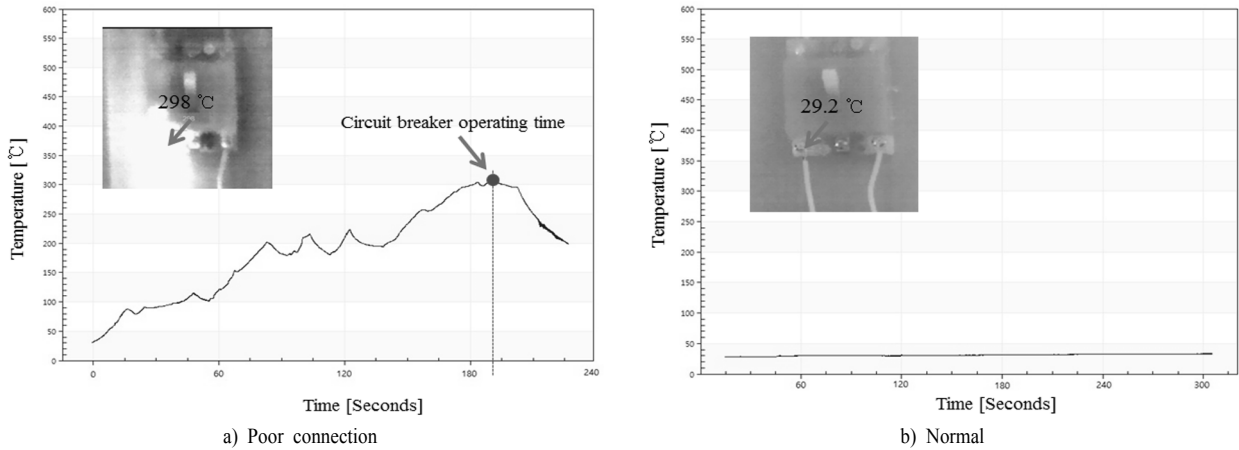


Fig. 5. Characteristic of temperature and circuit breaker operating time at 5A.

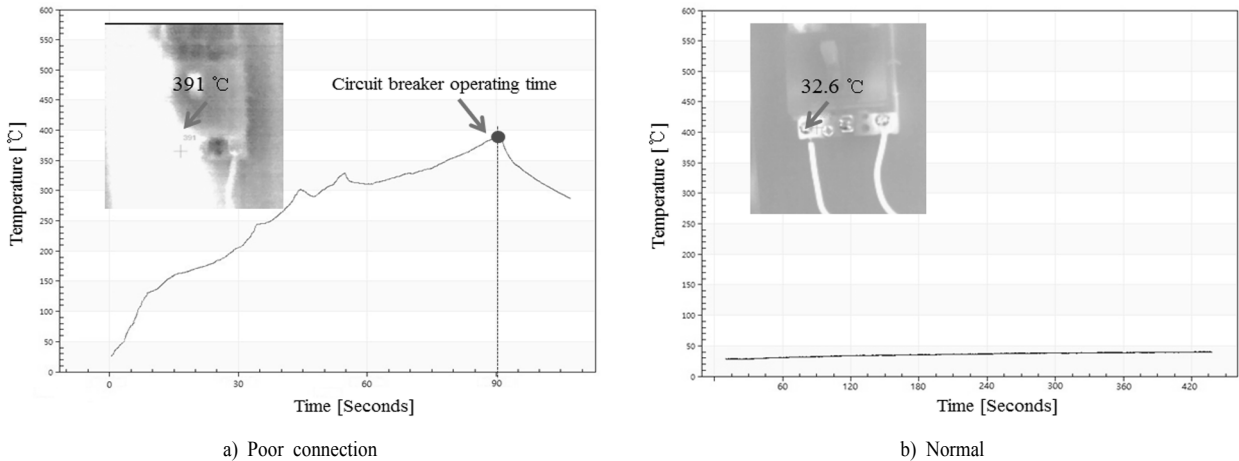


Fig. 6. Characteristic of temperature and circuit breaker operating time at 10A.

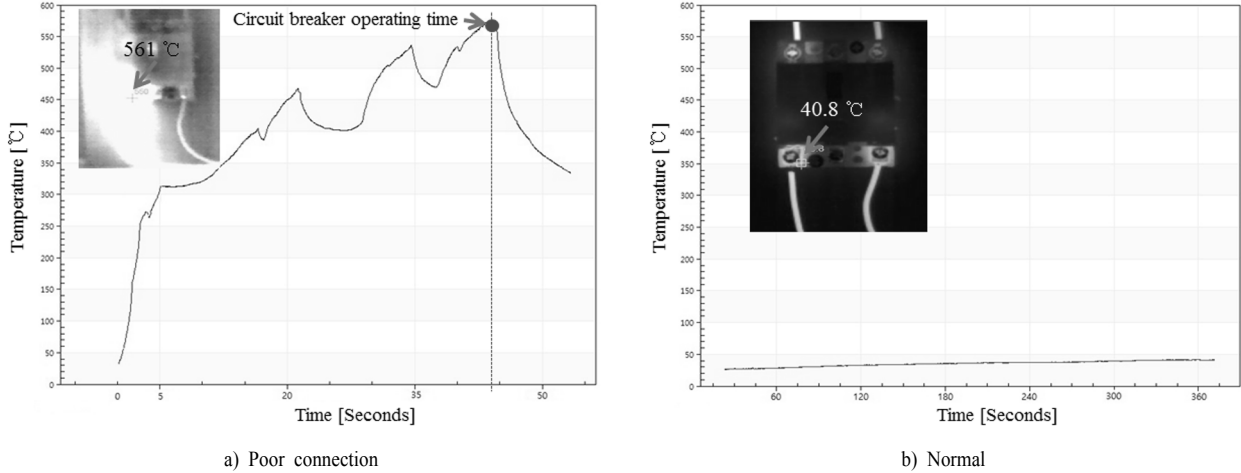


Fig. 7. Characteristic of temperature and circuit breaker operating time at 15A.

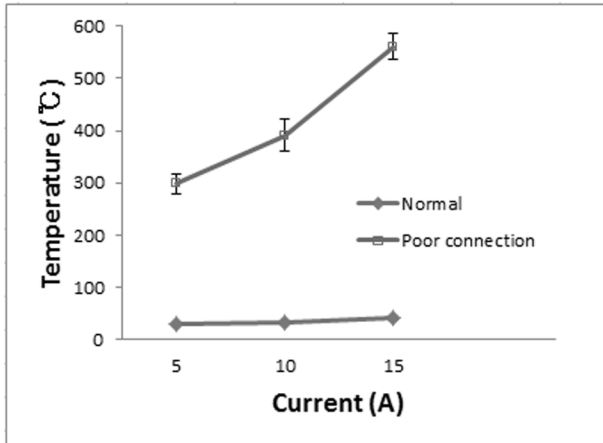


Fig. 8. Temperature values at normal and poor connection states.

Table 2. Circuit breaker operating time for current value

Current(A)	Circuit breaker operating time (seconds)
5	194
10	90
15	44

경우는 194초, 10A의 경우는 90초, 15A의 경우 44초로 나타났다. 전류가 증가함에 따라 차단속도는 2배 정도 빠르게 작동하였다. PVC의 발화온도가 455°C¹⁰⁾ 임을 감안하면 10A부터는 전선의 피복에 치명적인 손상을 줄 수 있는 에너지원으로 작용하였다. Fig. 5(a), Fig. 6(a), Fig. 7(a)는 5A, 10A, 15A에서 접촉불량에 따른 온도 특성을 나타내었고, Fig. 5(b), Fig. 6(b), Fig. 7(b)는 5A, 10A, 15A에서 정상상태의 온도 특성을 나타내었다. Fig. 8은 전류값에 대하여 정상상태 및 접촉불량 상

태의 온도의 차를 나타내었다. Table 2는 전류값에 대한 차단기 동작 시간을 나타내었다.

5. 결론

소형분쇄기의 차단기의 접속점을 정상상태 및 접촉 불량상태로 구분하여 접속점의 전압강하, 온도 및 차단기 동작 시간 등을 각각 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 접촉불량시 5A에서는 평균 5.4V의 전압강하가 발생하였고, 10A에서는 7.5V, 15A에서는 8.3V로 10A이후로 전압강하가 7~9V사이에 전압강하가 발생하였다.
- 2) 정상상태의 5A, 10A, 15A의 전류값에 대하여 29.2°C, 32.6°C, 40.8°C의 열적 특성이 나타났으며, 접촉 불량 시에는 298°C, 391°C, 561°C였다. 옥내배선 IV전선의 허용온도가 70°C로, 5A(298°C)에서 이미 허용온도를 초과하였으며 10A에서 391°C와 15A에서 561°C로 차단기 및 분전함의 PVC의 발화온도가 455°C임으로 탄화 및 발화가 가능한 온도였다.
- 3) 차단기 동작시간은 5A의 경우는 194초, 10A의 경우는 90초, 15A의 경우 44초로 나타났다. 전류가 증가함에 따라 차단속도는 2배 정도 빠르게 작동하였다. 접촉불량 발생시에 차단기가 동작되었다고 하더라도 전기배선 및 차단기 구조체 등에 치명적인 손상이 초래됨으로 소형분쇄기의 사용 전·후에 차단기, 단자대의 전선 접속부의 접속상태에 대한 상시 점검을 실시해야 한다.

감사의 글: “이 논문은 2014학년도 세명대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임”

References

- 1) National Fire Data System, “<http://www.nfds.go.kr/>”, 2015.
- 2) C. S. Choi, “Characteristic of Arc and Temperature of Electric Wiring at Poor Connection”, *The Safety Technology*, pp.14-17, 2006.
- 3) M. H. Park, “Safety Plan for Industrial Low-Speed Plastic Granulators”, Graduate School, Chungbuk National University, pp. 1-2, 2004.
- 4) J. W. Munday & Associates, “Electrical Fire Causes and Diagnostics”, 2002.
- 5) Fire Investigation Group, “Electricity Handout”, London Fire Brigade, pp.35-47, 2003.
- 6) NFPA 921, “Guide for Fire and Explosion Investigations”, pp.70-91, 2011.
- 7) J. D. Dehaan, “Kirk’s Fire Investigation”, Prentice Hall, pp. 327-329, 2002.
- 8) Korean Industrial Standard, “KSC 2625: Terminal Blocks for Industrial and Similar Use”, 2011.
- 9) KESCO, “Hand Book for Electrical Safety Management”, pp.103-109, 2006.
- 10) D. H. Baek, “Study on Using Non-combustible Materials of Exposed Pipe”, *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp.16, 2013.